

文章编号: 1006-6616 (2006) 02-0243-09

# 活动构造区山地环境铁路选线研究

卿三惠<sup>1,2</sup>, 黄润秋<sup>1</sup>, 李东<sup>2</sup>, 蒋良文<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 成都 610059;

2. 铁道第二勘察设计院, 成都 610031)

**摘要:**在活动构造发育的山地环境进行选线是铁路、公路等工程建设关注的重大工程地质问题。文章结合我国西南地区新建昆河铁路玉蒙段的选线研究, 论述近场区地质环境、新构造运动与地震、活动断裂与地震危险性、山地灾害等内外动力地质作用的区域性特征及重大工程地质问题, 并从工程地质条件与技术、经济等方面论证比选最优线路走向方案。可供类似区域地质环境的山区铁路、公路选线借鉴。

**关键词:**活动构造; 地震活动; 山地环境; 铁路选线

**中图分类号:** P546, P642.2

**文献标识码:** A

## 0 引言

西南地区是我国大陆新构造运动最为强烈的地区, 由于印度板块向欧亚板块的强烈推挤, 使区域地壳强烈隆升, 活动断裂纵横交错, 岩浆侵入、火山喷发、地震活动频繁, 从而形成了气候湿润多雨, 地势陡峭的高山峡谷地貌, 是我国地震、地质灾害最严重的地区。理论与历史经验表明, 活动构造区山地环境对工程的影响较大, 尤其在不良地质条件下更为突出。例如: 我国1966年2月5日发生的东川6.0级地震, 导致东川铁路新村~浪田坝约40km遭受严重破坏; 1996年2月3日云南丽江7.0级地震, 造成丽江、鹤庆、中甸、剑川、洱源等地房屋倒塌35万间, 损坏61万间, 伤亡17221人, 电力、交通、通讯以及水利等设施也遭到破坏, 冲江河电站严重受损而停止供电, 滇藏公路214线上的鲁南金沙江大桥桥面开裂, 整体结构下沉等, 经济损失巨大。国外遭受地震破坏的工程实例也屡见不鲜。

随着我国国民经济的发展和“西部大开发战略”的实施, 国家中长期规划将要在西南地区建设大规模的铁路、公路、水工、矿山等工程设施。然而, 在西南地区这种活动构造发育的山地环境条件下搞建设, 工程安全稳定性必然成为人们关注的重大工程地质问题。无论是铁路、公路选线, 还是水工、矿山、建筑的选址, 都十分重视新构造地震、活动断裂、山地灾害等对工程安全的重大影响。本文拟结合新建昆明至河口铁路玉溪至蒙自段(以下简称昆河线玉蒙段)的选线研究, 论述近场区的区域地质环境、新构造运动与地震、活动断裂、地震危险性、山地灾害等内外动力地质作用的区域性特征及重大工程地质问题, 并从工程地质

收稿日期: 2006-03-20

作者简介: 卿三惠(1956-), 男, 在职博士生, 主要从事铁路、公路交通及环境工程勘察设计工作。

E-mail: qsh@vip.sina.com.

条件与技术、经济等方面论证比选最优线路走向方案。对于合理利用和保护地质环境、减轻地质灾害具有重要意义。

# 1 区域地质环境

## 1.1 自然地理地貌

昆明至河口铁路玉溪至蒙自段(以下简称昆河线玉蒙段)位于云南省滇南地区玉溪市及红河自治州境内。北端起于昆玉铁路玉溪南站接轨,东至蒙自终点站。设计初期南接昆河米轨铁路至边境口岸河口与越南路网相连,形成云南出境的国际铁路通道,北接昆玉地方铁路与国铁准轨铁路网相连。研究区位于云南高原中南部的构造侵蚀、剥蚀低中山区,地势西北高、东南低,地面高程西北部多在1500~2000m,东南部则多在1200~2000m。境内山峦纵横,地形错综复杂,山地、峡谷、高原、盆地交错分布。测区内最高点为个旧市西侧莲花山,高程达2739m;最低点位于倘甸盆地,高程为1123m。按内外动力作用因素和地面形态,测区地貌可分为高原构造侵蚀地貌、高原构造剥蚀地貌、高原溶蚀地貌和高原河流湖泊堆积地貌四种类型。线路经过地区属亚热带季风气候,年均气温15~20℃,年均降雨量780~1000mm。

## 1.2 地层岩性与地质构造

(1) 地层岩性 自元古代至新生代地层中,除奥陶系、志留系、白垩系外,其余地层出露齐全,岩浆岩、变质岩、沉积岩三大岩类都有分布,岩性主要为灰岩、白云岩、泥灰岩、硅质岩、砂岩、泥岩、砾岩、页岩及板岩,沿断裂带侵入的花岗岩、闪长岩等。沿线通海、玉溪、建水、蒙自等断陷盆地区,主要分布第四系湖相沉积的粘性土、软土、砂土及第三系泥岩、砂岩、砾岩夹褐煤,局部含石膏等,泥岩具弱~中等膨胀性。

(2) 地质构造 研究区位于川滇菱形断块的东南端,宏观区域大地构造分属扬子准地台(I)、华南褶皱系(II)和唐古拉-昌都-兰坪-思茅褶皱系(III)<sup>[1-2]</sup>。拟建铁路线路经过扬子准地台(I)和华南褶皱系(II)大地构造单元(图1)。东起于扬子准地台之川滇台背斜东南边缘,经白林山后向南东横贯滇东台褶皱带,至建水东侧进入华南褶皱系范围,其终点为华南褶皱系滇东南褶皱带之西部边缘。纵贯南北的小江断裂带南端在个旧以南与红河断裂带交汇而被切断。

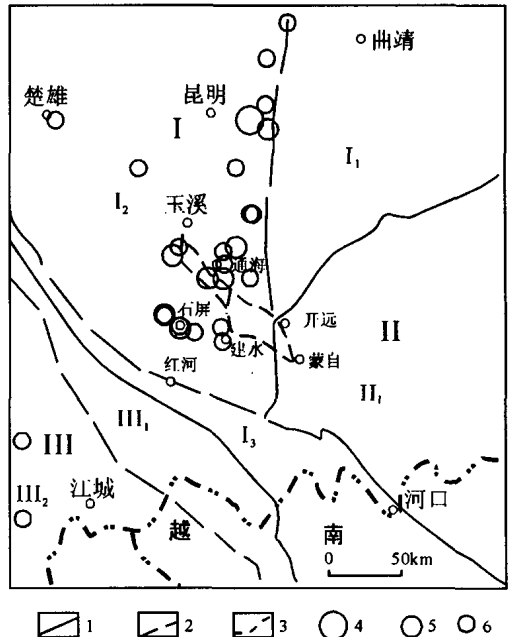


图1 区域大地构造单元划分

Fig.1 Regional tectonic divisions

- 1. 一级构造单元界线; 2. 二级构造单元界线; 3. 铁路选线位置; 4. 震中  $M = 8.0$ ; 5. 震中  $M = 7.0 \sim 7.9$ ; 6. 震中  $M = 6.0 \sim 6.9$ ; I 扬子准地台; I<sub>1</sub> 滇东台褶皱带; I<sub>2</sub> 川滇台背斜; I<sub>3</sub> 苍山-哀牢山台缘褶皱带; II 华南褶皱系; II<sub>1</sub> 滇东南褶皱带; III 唐古拉-昌都-兰坪-思茅褶皱系; III<sub>1</sub> 墨江-绿春褶皱带; III<sub>2</sub> 兰坪-思茅褶皱带

## 2 新构造运动与地震

铁路选线区域是一个新构造运动强烈活动区，主要表现为现代地貌的变形与抬升及发生在上第三系与第四系沉积物中的褶皱乃至断层变形（新构造变形）。如图 2 所示，区域新构造可划分为两个一级分区：即滇中隆起区（I）和滇东隆起区（II）。基于近场区新生代以来的断裂活动特征和构造地貌特征，进一步将近场区划分为若干亚区，前者可分为通海差异隆陷（I<sub>1</sub>）、曲江差异断隆（I<sub>2</sub>）和建水差异断隆（I<sub>3</sub>）三个二级分区，后者可分为开远差异断隆（II<sub>1</sub>）和蒙自差异隆陷（II<sub>2</sub>）两个二级分区。近场区 I、II 级分区的边界均是活动断裂，7 级以上强震均沿新构造分区边界发生，是云南省现代新构造运动最活跃的强烈地震区，历史上曾多次发生强烈地震（图 1），主要沿著名的小江断裂带及曲江断裂带展布。

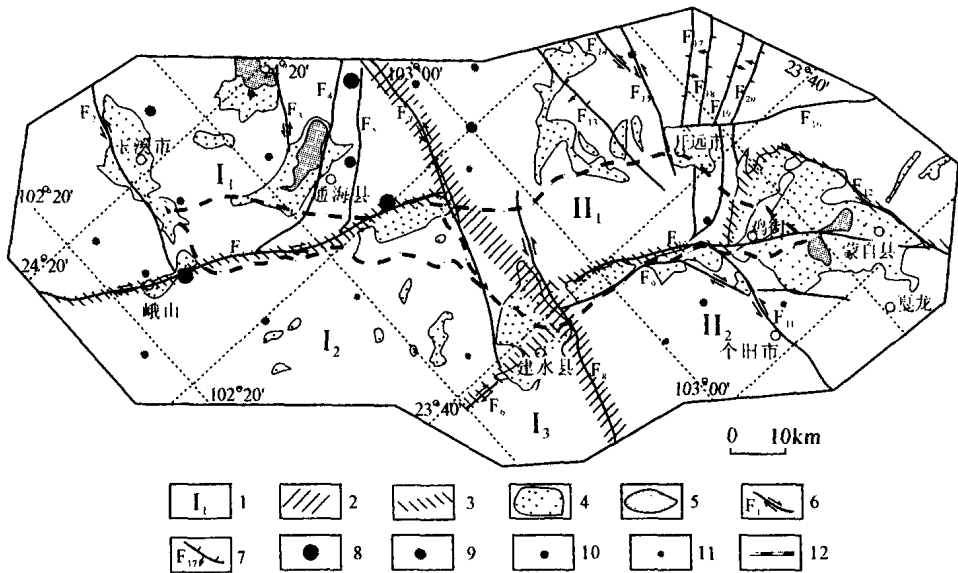


图 2 新构造分区与地震地质构造图

Fig.2 Map of neotectonic divisions and seismic geological structure

- 1. 新构造分区编号; 2. 一级分区边界; 3. 二级分区边界; 4. 盆地; 5. 现代湖泊; 6. 走滑断裂; 7. 逆断层;
- 8. 震中  $M = 7.0 \sim 7.9$ ; 9. 震中  $M = 6.0 \sim 6.9$ ; 10. 震中  $M = 5.0 \sim 5.9$ ; 11. 震中  $M = 4.0 \sim 4.9$ ; 12. 铁路线

(1) 小江地震带：北起巧家南经东川、嵩明、寻甸、宜良、开远到个旧。自 1500 年以来记录到  $M_s \geq 4.75$  级以上地震 36 次，其中 8 级地震 1 次、7.5 级地震 1 次、6.75 ~ 7 级地震 1 次、6 ~ 6.5 级地震 6 次、5.5 ~ 5.75 级地震 12 次、4.75 ~ 5.25 级地震 15 次。自 1600 年以来经历了 3 次地震活跃期：第一活跃期 1701 ~ 1733 年，最大震级为 7.5 级；第二活跃期 1833 年，最大震级为 8 级；第三活跃期 1927 至现在已 70 余年。其间 1621 ~ 1706 年、1734 ~ 1832 年和 1834 ~ 1926 年为地震平静期，地震平静间隔分别为 85 年、98 年和 92 年，平均间隔 90 年左右<sup>[3]</sup>。

(2) 曲江地震带：包括玉溪、通海、峨山、曲江、建水、个旧等地区，自 1446 年以来记录到  $M_s \geq 4.75$  级以上地震 51 次，其中 7 级以上地震 3 次，6.75 ~ 7 级地震 1 次，6 ~ 6.5 级地震 14 次，5.5 ~ 5.75 级地震 10 次，4.75 ~ 5 级地震 23 次。1515 ~ 1610 年、1721 ~ 1857

年和 1887 年至今为三次地震活跃期, 1611 ~ 1720 年和 1816 ~ 1886 年为两次地震平静期, 间隔为 109 年和 70 年, 平均间隔约 90 年<sup>[3]</sup>。

根据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001), 研究区小江断裂带经由的个旧—开远以西区域地震动峰值加速度为 0.2 ~ 0.3g (地震基本烈度为 VIII 度), 以东区域为 0.1 ~ 0.15g (地震基本烈度为 VII 度), 属高烈度地震区, 对铁路工程的安全影响较大。

### 3 活动断裂特征

区域内活动断裂主要有 20 条 (表 1), 断裂主要分为 NW、NE、NNE 向三组 (图 2)。根据断裂的最新活动时代, 近场区断裂可分为全新世活动断裂、晚更新世活动断裂、早、中更新世活动断裂和前第四纪断裂四类。近场区的全新世活动断裂和晚更新世活动断裂均以走滑活动为主要特征。区域内对线路方案影响较大的活动断裂主要有全新世 ( $Q_4$ ) 的曲江断裂 (1)、石屏—建水断裂 (6)、李浩寨断裂 (7)、白云—山花断裂 (8)、黑泥地—白沙冲断裂 (9)、个旧断裂 (11) 及晚更新世 ( $Q_3$ ) 的普渡河断裂 (2)、大石盆断裂 (4)、大营—华宁断裂 (5)、大田山—鸡街断裂 (10)、东山断裂 (12)、楷甸断裂 (15) 等。

表 1 主要断裂特征一览表

Table 1 Summary of the characteristics of major faults

| 编号 | 名称        | 区内长度/km | 产状  |       |          | 断裂性质   | 最新活动时代 | 活动速率<br>mm/a |
|----|-----------|---------|-----|-------|----------|--------|--------|--------------|
|    |           |         | 走向  | 倾向    | 倾角       |        |        |              |
| 1  | 曲江断裂      | 80      | NW  | NE/SW | 70 ~ 80° | 右旋走滑   | Q4     | 3.5          |
| 2  | 普渡河断裂     | 40      | NNE | E     | 60°      | 左旋走滑   | Q3     |              |
| 3  | 海门—三家村断裂  | 20      | NE  | E     |          | 左旋逆冲走滑 | Q3     |              |
| 4  | 大石盆断裂     | 36      | NE  | SE    | 40°      | 逆冲     | Q1-2   |              |
| 5  | 大营—华宁断裂   | 30      | NE  | SE    |          | 逆冲     | Q1-2   |              |
| 6  | 石屏—建水断裂   | 30      | NWW | S     | 70°      | 右旋走滑   | Q4     | 3 ~ 4        |
| 7  | 李浩寨断裂     | 67      | NNE | E     | 75°      | 左旋走滑   | Q4     | 2 ~ 3        |
| 8  | 白云—山花断裂   | 55      | NNE | W     |          | 左旋走滑   | Q4     | 1.6 ~ 1.8    |
| 9  | 黑泥地—白沙冲断裂 | 60      | NW  | S/N   | 40 ~ 80° | 右旋走滑   | Q4     | 1.5 ~ 2.0    |
| 10 | 大田山—鸡街断裂  | 68      | NW  | N     | 50 ~ 80° | 右旋走滑   | Q3     | 2.4          |
| 11 | 个旧断裂      | 40      | SN  | W     | 70 ~ 80° | 左旋走滑   | Q4     | 1.3 ~ 2.0    |
| 12 | 东山断裂      | 35      | NNW | W/E   | 90°      | 左旋走滑   | Q3     | 1.0          |
| 13 | 巡检司—小龙潭断裂 | 37      | SN  | W     |          | 逆冲     | 前 Q    |              |
| 14 | 中山—弥勒断裂   | 12      | SN  | W     |          | 左旋走滑   | Q3     |              |
| 15 | 楷甸断裂      | 30      | NNE | W     |          | 左旋走滑   | Q3     |              |
| 16 | 阿得邑断裂     | 40      | NW  | E     |          | 逆冲     | Q1-2   |              |
| 17 | 怡里断裂      | 21      | NE  | SE    |          | 逆冲     | Q1-2   |              |
| 18 | 养马冲断裂     | 41      | NE  | NW    |          | 逆冲     | Q1-2   |              |
| 19 | 老虎坡断裂     | 40      | NE  | SE    |          | 逆冲     | Q1-2   |              |
| 20 | 马恨断裂      | 38      | NE  | NW    |          | 逆冲     | Q1-2   |              |

### 3.1 全新世活动断裂

(1) 曲江断裂带: 断裂沿曲江河谷延伸, 走向  $NW50^\circ$ , 长约 100km, 近场区长 80km。西北起自安居村, 向东南经保山村、峨山、小海洽、梅子树、水车田到五街后, 沿高大盆地北侧过白林山、姑娘村至大箐, 然后沿曲溪盆地北缘至庙碑山以东, 止于小江断裂南段西支的李浩寨断裂, 在空间上由多条次级剪切断层组成。断裂切错了不同时代的地层。长期以来断裂活动以右旋走滑为主, 在地貌上表现为清楚的直线型断层谷地, 沿断裂发育有峨山、小海洽、高大和曲溪四个断陷盆地。断裂活动表现出枢纽运动特点, 以梅子树为界, 断裂的西北段 S 倾, 东南段 N 倾。断裂在小街镇以东和曲溪镇以北两处与铁路南、北两线交汇。曲江断裂是一条全新世右旋走滑活动断裂, 其右旋走滑速率约为  $3.5\text{mm/a}$ 。有地震史料记载以来共发生 7 级以上地震 3 次, 最大震级为 7.7 级, 曲江断裂走向是强震优势破裂方向。1970 年发生的通海 7.7 级地震, 宏观震中位于高大一带, 极震区烈度为 X 度, 等震线长轴沿曲江断裂带展布。该地震沿曲江断裂产生了长约 48km 的地震形变带<sup>[4]</sup>, 最大水平位错 3.25m, 垂直位错 0.55m, 二者之比为 6:1。地震形变带显示了以右旋水平位错为主兼有向 SW 方向逆冲的活动性质。高大盆地和曲溪盆地北缘山坡上地震变形带连续分布, 最大垂直位错 0.4m、水平位错 2.2m。1588 年曲溪地震, 极震区位于曲溪附近, 极震区烈度大于 IX 度, 震级大于 7 级, 等震线长轴平行曲江断裂。1913 年峨山地震, 极震区位于峨山与乐德旧之间, 烈度为 IX 度, 震级为 7 级, 等震线长轴也平行于曲江断裂。

(2) 石屏—建水断裂带 (6): 西起化念, 向东经石屏城北异龙湖北岸, 过建水北被小江断裂系之白云—山花断裂 (8) 切错, 再向东经鸡街, 止于蒙自盆地东山断裂, 总体走向  $NWW$ , 长约 160km。该断裂形成于元古代末期, 由于长期演化和多期活动, 形成 400~500m 宽的挤压破碎带。该断裂是一条全新世右旋走滑活动断裂, 走滑速率  $3\sim 4\text{mm/a}$ <sup>[5]</sup>。有地震史料以来, 该断裂发生过多次 7 级左右的强震, 断裂走向是强震的优势破裂方向。石屏一带 1799 年和 1887 年分别发生过 7 级地震, 两次地震的宏观震中分别位于宝秀、坝心附近, 等震线长轴位于化念—石屏—建水断裂上。1799 年的发震构造为化念—石屏断裂, 1887 年地震的发展构造为石屏—建水断裂<sup>[6]</sup>。此外, 石屏一带分别于 1755 年、1814 年、1934 年、1940 年发生 6 级地震, 宏观震中依次位于石屏东铁所、黑箐、小黑克一带, 石屏附近、新街、坝心一带, 以及石屏西北宝秀、大阳营等地。强震主要分布于上述两条断裂的斜列部位。

(3) 小江断裂带 (7、8): 按结构和空间展布可分为北段、中段和南段, 南段与线位关系密切。区域内的南段分支为两条规模较大的李浩寨断裂 (7) 和白云—山花断裂 (8)。

1) 李浩寨断裂, 北起华宁县茂地村以北, 向南经华宁、曲溪盆地东缘、李浩寨、小新寨, 南至建水盆地, 在马坊一带被石屏—建水断裂阻断, 全长 80km, 近场区内长 70km。曲溪盆地以南走向  $NE20^\circ$ , 以北转为近 SN 向。断裂面近直立, 活动方式以左旋走滑为主要特征。断裂在曲溪盆地东侧以及李浩寨一带与铁路线相交。该断裂在华宁附近由两条断裂左阶斜列而成, 间距小于 2km, 西支构成华宁盆地的东界断裂。在断裂带中段的曲江一带, 断裂与 NW 向曲江断裂形成“丁字”构造, 后者为右旋走滑断裂, 因此在曲江、东山一带构成拉张区, 形成曲溪盆地, 盆地内新生代地层最厚达 650m。据宋方敏考察<sup>[7]</sup>, 李浩寨断裂切割的最新地层为全新世冲洪积层, 表明该断裂为全新世活动断裂, 活动方式为左旋走滑, 其左旋走滑速率为  $2\sim 3\text{mm/a}$ 。1789 年华宁 7 级地震, 极震区位于华宁、矣度一带, 烈度为 IX 度, 等震线长轴近南北, 其发震断层可能是李浩寨断裂。

2) 白云—山花断裂, 北起白云, 向南经羊街、建水盆地东缘、新寨、苟街, 终止于山花, 总体走向 NE10°, 北端转为 NE30°, 全长 50km, 倾角近直立。该断裂带由 5 条断层斜列组成, 以右阶斜列为主, 也有左阶斜列, 在相应的岩桥区形成拉分盆地或推挤隆起。断层剖面和断错冲沟显示建水东断裂的性质为逆冲左旋。断裂在建水以东和白云东北侧与铁路线相交。白云—山花断裂与李浩寨断裂在羊街盆地东西两侧相距 10~12km, 首尾斜列重叠 20km 左右, 构成一左行阶区, 两条断裂的左旋活动在羊街盆地形成拉分区。石屏—建水断裂被白云—山花断裂在东山寨附近阻断, 前者为右旋活动断裂, 后者为左旋活动断裂, 二者在建水一带形成拉张区。建水盆地、羊街盆地沉降中心新生代厚度达 700m 和 600m<sup>[8]</sup>。白云—山花断裂为一条全新世左旋走滑活动断裂, 全新世以来活动速率为 1.6~1.8mm/a。据历史记载, 1446 年、1539 年和 1606 年, 建水附近先后发生过 5.5 级、5.5 级和 6.7 级地震, 极震区烈度分别为 VII、VII、IX 度。这些地震可能与白云—山花断裂的活动有关。

(4) 黑泥地—白沙冲断裂 (9): 断裂沿阿鹏寨、黑泥地、草地苑、大麦塘、白沙冲、古山选矿厂一线分布, 总体走向 NWW, 全长 60km。断裂带总体走向与铁路线近平行, 二者在大田山、梭罗一带交汇。断层南倾、倾角较陡, 断层南盘的前新生代地层逆冲到北盘的上第三系和第四系地层之上, 并多处右旋错断冲沟, 显示了断层逆冲右旋的性质。该断裂是一条全新世活动断裂, 以右旋走滑为基本活动特征, 兼有逆冲性质, 局部表现为正断特征, 水平平均活动速率为 1.5~2.0mm/a。有史记载黑泥地—白沙冲断裂附近无 6 级以上强震发生。

(5) 个旧断裂 (11): 展布于田心、个旧、倘甸一带, 全长约 45km, 总体走向近 SN, 倾向 W, 倾角陡立。该断裂线性地貌清晰, 控制田心、卡房、个旧、倘甸等第四纪断陷盆地的发育, 最新断错全新统, 水系左旋位错明显。该断裂是一条全新世活动断裂, 以左旋走滑为主要活动特征, 水平滑动速率为 1.3~2.0mm/a, 垂直滑动速率为 0.17mm/a。

### 3.2 更新世活动断裂

(1) 普渡河断裂 (2): 断裂南起峨山小街, 向北经玉溪盆地西缘、新街、滇池西缘、普渡河河谷, 直至宁南附近, 全长 340km。断裂带走向近 SN, 表现为压扭性质, 主断裂 E 倾, 倾角 60°。断裂带为数十米至百余米的角砾岩破碎带。近场区只包括其南端部分, 长 40km。断裂与铁路线最近距离约 1.5km。该断裂是一条晚更新世活动的左旋走滑断裂, 具备发生 6 级左右强震的条件。据历史记载, 1761 年玉溪发生 6.25 级地震, 宏观震中在玉溪附近, 等震线长轴沿普渡河断裂展布。

(2) 大石盆断裂 (4)、大营—华宁断裂 (5)、大田山—鸡街断裂 (10)、东山断裂 (12)、楷甸断裂 (15), 有史记载以来未发生过破坏性地震, 对工程影响较小。

## 4 活动断裂与地震危险性分析

理论研究与工程实践表明, 全新世活动断裂对工程的危害最大, 铁路选线及工程设计中应重点防范。近场区内全新世走滑活动断裂的平均活动速率可分为三级。第一级是 3.0~4.0mm/a 的曲江断裂和石屏—建水断裂; 第二级是 2.0~3.0mm/a 的李浩寨断裂; 第三级是 1.0~2.0mm/a 的白云—山花断裂、黑泥地—白沙冲断裂和个旧断裂。有史以来, 第一级活动断裂发生过 2 次以上的 7 级以上大震, 第二级活动断裂只发生过 1 次 7 级以上大震, 第三级活动断裂没有 7 级以上大震记录。近场区 7 级以上大震都沿全新世走滑活动断裂发生, 6 至 7 级地震发生在全新世活动断裂和晚更新世活动断裂附近, 或第四纪盆地附近。近场区全

新世活动断裂长度均在50km以上,有发生7级以上地震的潜在危险;晚更新世活动断裂长度均在26km以上,有发生6至7级地震的潜在危险。铁路选线中应高度重视并规避全新世活动断裂与地震危险性问题。

## 5 铁路线路选线研究

### 5.1 新构造地震区的选线原则

(1) 线路应尽可能避开或远离全新世活动断裂和发震断裂带,难以绕避时,应选择断裂较窄处,以简单工程大角度通过。不宜在断裂带内设置大、中桥、隧道、高填、深挖等难以修复的重大工程。

(2) 线路宜绕避或短距离通过不稳定的悬崖深谷、高耸孤立的山丘及崩塌、滑坡、泥石流、液化土、软土等抗震不利地段;不宜在松散的厚层山坡堆积层上设置高桥、高填、深挖和半填半挖路基,应选在工程地质条件较好、地形开阔平坦或缓坡地段;不得以液化土层作建筑物基底的持力层。

### 5.2 主要线路方案概况

根据上述选线原则,结合区域经济环境与地形地质特点,拟建昆河线玉蒙段主要研究了三个可能的线路走向方案(图2)。即:玉溪南—通海—建水—蒙自方案;玉溪南—通海—开远—蒙自方案;玉溪南—曲溪河—建水—蒙自方案。

(1) 玉溪南—通海—建水—蒙自方案: 新建线路长142.94km,限制坡度24‰,桥隧比重48.6%,工程投资42.3亿元。线路通过断裂破碎带及影响带长38处计69.4km,Ⅷ度及以上地震区126km。线路通过地区的经济据点较多,客货运量较大,远期最大货流密度 $760 \times 10^4$ t,客车10对,有利于拉动铁路沿线地方经济发展和市场竞争。

(2) 玉溪南—通海—开远—蒙自方案: 新建线路长136.24km,限制坡度24‰,桥隧比重71.3%,工程投资45亿元。线路通过断裂带及影响带42处计66.7km,Ⅷ度及以上地震区96km。线路连接红河州开远、蒙自两个主要经济区,初、近期的区段货流密度较建水方案多30万吨,远期较建水方案少60万吨,有利于带动开远市的经济的发展。

(3) 玉溪南—曲溪河—建水—蒙自方案: 新建线路长142.63km,限制坡度18‰,桥隧比重59%,工程投资44亿元。线路通过断裂破碎带及影响带19处计53.5km,Ⅷ度及以上地震区115km。线路通过经济据点相对较少,客货运量较小,对玉溪市的经济带动作用较差。

### 5.3 区域重大工程地质问题

从区域地质条件上分析,三个线路方案同属一个区域地质环境,地质构造复杂,新构造运动强烈,是我国大陆现今地壳构造运动最为强烈的地区,以活动断层及地震破裂带长、位错量大为主要特征。三个线路方案均不同程度地穿越了区域的主要发震构造,如小江断裂带南段之李浩寨断裂、白云—山花断裂及曲江断裂带等全新世活动断裂,对工程结构的安全性及铁路运营安全影响较大。概括起来,主要有三个方面的重大工程地质问题:

(1) 高烈度地震问题: 拟建铁路近场区历史上曾发生过多次强烈地震,预测未来百年内有发生7级以上地震的潜在危险和6~6.5级地震的可能<sup>[3]</sup>。地震作用可能导致建筑物破坏,工程抗震设防难度大。各个线路方案均有相当长的地段走行在深山峡谷之中,如曲江河谷及李浩寨等地,在陡峻的山坡和沟谷内覆盖有大量不稳定的松散堆积物,在地震触发下可能产

生崩塌、滑坡、泥石流等山地灾害,威胁铁路运营安全。

(2) 活动断裂问题:区域位于川滇断块强烈抬升区的南端和滇东断块缓慢抬升区西部,地处川滇菱形块体构造的东南角,是NW向红河断裂带和SN向小江断裂带的交汇地带。新生代以来,这个夹持于红河断裂与小江断裂之间的楔形地块,受川滇菱形块体向SE方向滑移的影响,区内一系列大断裂发生强烈的走滑和挤压逆冲活动,形成块体内部复杂的构造变形、强烈的断裂活动与强震密集带,是云南省活动断裂和地震灾害最严重的地区之一,地壳稳定性差,对工程结构的安全威胁较大。活动断裂最直接的灾害是断裂的蠕滑活动使建筑物遭到破坏或断裂地震导致建筑物被错断或倾斜。

(3) 不良地质与特殊岩土问题:各个线路方案沿线均不同程度地经过崩塌、落石与岩堆、滑坡、泥石流、岩溶、液化砂土、小煤窑采空区、有害气体、高地应力等不良地质及软土、膨胀土(岩)、红黏土等特殊岩土地段,工程治理投资较大。

#### 5.4 主要线路方案综合比选

(1) 工程地质条件比较:玉溪南—通海—建水—蒙自方案经过断裂带及影响带69.4km,较开远方案长2.7km,较曲溪河方案长15.9km;经过Ⅷ度及以上地震区126km,较开远方案长30km,较曲溪河方案长11km。总体工程地质条件评价,玉溪南—通海—建水—蒙自方案较开远方案、曲溪河方案稍差。但该方案有两个最大的优点:一是最大限度地避开了区域新构造地震活动最强烈的曲江断裂带,大部分线路以大角度与大石盆(4)、大营—华宁(5)、石屏—建水(6)、白云—山花(8)、个旧(11)五个活动性相对较弱断裂带相交,仅有部分地段与李浩寨(7)、黑泥地—白沙冲(9)、大田山—鸡街(10)三个活动断裂平行,线路距断裂主带也有一定距离;二是线路经过地区的地形条件除通海~曲江约30km为高耸山区外,大部分线路(约70%)走行在玉溪、通海、建水—蒙自盆地的缓坡地带,工程类型比开远方案、曲溪河方案相对简单,以路基为主,桥隧比重较小,有利于抗震设防及震后破坏的工程修复。

(2) 技术经济比较:玉溪南—通海—建水—蒙自方案新建线路长142.94km,较开远方案长6.7km,较曲溪河方案长0.309km;桥隧比重48.6%,较开远方案少11.4%,较曲溪河方案少22.7%;建设投资最少(42.3亿元),较开远方案省2.7亿元,较曲溪河方案省1.7亿元;线路经过地区人口较稠密,经济据点较多,与云南省玉溪市、红河州经济发展规划相匹配,远期客货运量相对较大,既有利于带动地方经济发展,也有利于铁路在运输市场上的竞争。

(3) 线路方案的比选结论:基于上述工程地质条件与技术经济比较的优势,推荐采用玉溪南—通海—建水—蒙自方案。

## 6 结论

昆河铁路玉蒙段选线的总体思路体现了工程地质与技术经济的有机结合,推荐采用的玉溪南~通海~建水~蒙自方案是可行的,顺利通过了铁路主管部门的审查。但就此方案而言,由于全线经过区域仍属高烈度地震区(Ⅶ~Ⅷ度)山地环境,内外动力地质作用诱发地质灾害的可能性及其对工程的潜在危害不可忽视。工程勘察设计中,应进一步做好以下工作:

(1) 深化工程地质勘察,采用综合勘探手段详细查明沿线工程地质条件,进一步优化局



部线路方案，以最大限度地绕避或短距离通过活动断裂、发震断裂、不良地质与特殊岩土地段。

(2) 对线路经过不良地质与特殊岩土地段进行地质灾害评估。

(3) 对设置在Ⅶ度以上地震区的高墩大跨桥梁（如曲江大桥）及长、大深埋隧道（如通海隧道、柿花树隧道）等重大工程和可能发生严重次生灾害的工程，应进行地震安全性评价。

(4) 根据地震评价与地灾评估结果确定抗震设防及灾害防治原则。

(5) 对线路难以绕避的高烈度地震区、活动断裂带及不良地质与特殊岩土地段的工程，应加强防灾减灾技术措施，力保工程结构与铁路运营安全。

### 参 考 文 献

- [1] 任纪舜. 中国及邻区大地构造图简要说明 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [2] 云南省地矿局. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [3] 李祥根. 中国新构造运动概论 [M]. 北京: 地震出版社, 2003.
- [4] 刘祖荫. 1970年通海地震 [M]. 北京: 地震出版社, 1999.
- [5] 韩新民, 柴天俊, 肖九安, 等. 石屏—建水断裂中段的新活动与地震 [J]. 地震研究, 1982, 5 (2): 220~225.
- [6] 韩新民, 毛玉平. 石屏—建水断裂带未来三十年内七级以上大地震危险性分析 [J]. 地震研究, 1993, 16 (1): 52~59.
- [7] 宋方敏. 小江活动断裂带 [M]. 地震出版社, 1998.
- [8] 何宏林, 方仲景, 李坪. 小江断裂西支断裂南段新活动初探 [J]. 地震研究, 1993, 16 (3): 291~298.

## RAILWAY LOCATION IN A MOUNTAINOUS ENVIRONMENT IN AREAS OF ACTIVE STRUCTURES

QING San-hui<sup>1,2</sup>, HUANG Run-qi<sup>1</sup>, LI Dong<sup>2</sup>, JIANG Liang-wen<sup>2</sup>

(1. State Professional Laboratory of Geohazard Prevention and Control and Geoenvironmental Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan; 2. Second Survey & Design Institute of China Railway, Chengdu 610031, Sichuan)

**Abstract:** Location of line in a mountainous environment in which active structures are well developed is a major engineering-geological problem concerned in railway and highway construction. In light of a study of the location of the Yu-Meng section of the newly built Kun-He Railway in southwestern China, the paper discusses the regional characteristics of internal and external dynamic geological processes and major engineering-geological problems such as the geological environment, neotectonic movement and earthquakes, active faults and seismic risks and mountainous hazards, and demonstrates and compares the optimized schemes of line orientation based on the engineering geological conditions and economic and technical aspects. This study may be used as reference for the railway and highway location in mountainous areas with a similar regional geological environment.

**Key words:** active structure; seismic activity; mountainous environment; railway location